NAOSITE: Nagasaki University's Academic Output SITE

| | |
|---|---|
| Title | 長崎港内の定点における衛星航法システムの評価について |
| Author(s) | 吉村, 浩; 中根, 重勝; 合田, 政次 |
| Citation | 長崎大学水産学部研究報告, v.48, pp.41-47; 1980 |
| Issue Date | 1980-02 |
| URL | http://hdl.handle.net/10069/30575 |
| Right | |

This document is downloaded at: 2015-11-06T00:51:44Z

http://naosite.lb.nagasaki-u.ac.jp

# 長崎港内の定点における衛星航法システムの評価について

吉村　浩・中根重勝・合田政次

# On the Evaluation Test of the Navy Navigation Satellite System at the Fixed Station in Nagasaki Harbour

Hiroshi YOSHIMURA, Shigekatsu NAKANE and Masaji GODA

The purpose of this study was to obtain the fundamentals based on the results of this system and use them in testing other systems located in the ocean. When the positional errors from the station to the fixed positions by the NNSS were greater than a certain value, they were disregarded, and the calculated results by the remaining data showed similar accuracies as in the previous reports. Even when the data were classified by observed conditions, they gave very similar results except in the case of lower elevation angles.

When the abandonment ranges were more than 0.6 nautical miles, the percentage of the abandoned data was 5.5%, and the percentage of unreliable data in each condition was greatest in the case of the elevation angles lower than 10°, next when the angles were higher than 60°. The percentage in the daytime was nearly 1.5 times as high as that in other time zones, and plenty of data showed errors of more than 5.0 nautical miles. Even the classification by the number of satellites indicates a range of errors from 3.5 to 7.1%, but we cannot argue that it is only due to the satellites, because such factors as evaluation angles and time zones are involved.

When we use this system as the standard for the test of other systems, therefore, it is important to consider the percentage of unreliable data and also the observed positions.

衛星航法システムは Navy Navigation Satellite System（ＮＮＳＳ）として米国海軍により開発され，1967年に民間に開放されたものであるが，大洋中では最も高精度が得られ，全世界的，全天候性である等の利点が高く評価されている．測定時間間隔が長く，低緯度へゆくにつれて測定可能回数が減少する等の欠点はあるが，１周波受信の比較的安価な受信機でも測位精度が高いこともあって，多数の船舶に搭載され充分効果をあげている．

定点における精度は昼間で0.3海里，夜間では0.1海里と云われ，多くの報告（１，２，３）によりそのことが証明されている．本システムの測位誤差の原因としては (i) 衛星と受信機の性能，ことに発振周波数の変動（４，５，６），(ii) 電離層通過による電波の屈折（７），(iii) 衛星軌道の予測計算値の誤差（５，６），(iv) ジオイド高さによる空中線高さの影響（８），などがある．これらの原因が綜合されても前述のごとく，わずか0.1～0.3海里の誤差にすぎない．従って，大洋中において本システムによる測位結果を基準として，他の連続測定が可能なシステムの評価を行うこともできると考えられる．しかし，航走中には船速と針路の誤差による影響がかなり大きく現われるので（８），正確には，洋上では漂泊中の場合にのみ可能と云うべきであろう．本研究は，そのための基礎的な知見を得ることを目的として，長崎港内の定点における精度の評価を行ったものである．

## 測　定

測定には本学部練習船鶴洋丸に搭載されている受信機を使用させていただいたので，測定の時期と場所は，同船の停泊期間中で，定係地に係留中のみに限定した．すなわち，昭和52年３月より昭和53年３月までの約１

年間のうちの約120日間で，長崎港柳埠頭北側岸壁（32°42′08″N，129°50′45″E）と No. 5 係留ブイ（32°44′20″N，129°52′01″E）（Fig. 1）係留中に行った．

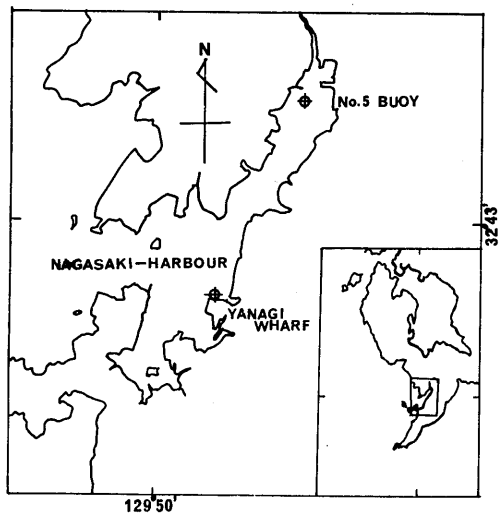


Fig. 1. Observed stations.

使用受信機は光電製作所製SOM-168型400MHz帯1周波受信用で，記録用プリンターがないため，記憶装置から呼び出して読取り記録した．記憶量は5回分までで，以後新たに受信すると古いものから順次更新されていくため，深夜前後の測定結果が消されて記録もれとなる事があった．記録したデータの内容は測定時刻（世界時），緯度，経度，衛星の最大仰角（5°～75°）および衛星の認識番号（下二桁）である．

## 整　理

測定は前記の如く2ケ所で行ったが，各測点の緯度，経度と測位結果との差から変緯と東西距を求め，これらから距離差を算出した．測点の緯度，経度は海図（No. 202）より求め，これを本システムの測地系 WGS-72 に変換するため，特殊図（No. 6019）より長崎港における補正値（緯度＋0.195海里，経度－0.144海里）を求めて改正したものを用いた．

測位データの総数は1527個であるが，これから距離差の大きさによって3段階の棄却を行って，各段階における変緯，東西距および距離差の平均値と標準偏差を算出した．それらの結果を Table 1 に示す．本来，測位結果に大きな誤差が含まれる場合には計算プログラムによって棄却されてしまう筈であるが，数十海里あるいは度単位の誤差を含む測位が表示されることもあったので，第1段階では明らかに誤差が大きいと判定できるものとして，距離差10.0海里以上のデータ22個を除き1505個について処理した．第2段階では第1段階の結果から3σ法によって更に1.80海里以上のデータ20個を棄却した．更に第3段階では第2段階の結果から同様にして0.6海里以上のデータ37個を棄却し，1443個について処理した．

Table 1. The mean values and standard deviations of difference of latitude, departure and distance in each abandonment range.

| Section | Number of data | Difference of latitude (NM) | | Departure (NM) | | Difference of distance (NM) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | mean | Standard deviation | mean | Standard deviation | mean | Standard deviation |
| 1 | 1505 | 0.007 | 0.432 | 0.034 | 0.371 | 0.193 | 0.537 |
| 2 | 1480 | 0.008 | 0.151 | 0.037 | 0.134 | 0.135 | 0.155 |
| 3 | 1443 | 0.011 | 0.088 | 0.039 | 0.106 | 0.115 | 0.085 |

Section 1 : Abandonment range less than 10.0 NM.
Section 2 : Abandonment range less than 1.8 NM.
Section 3 : Abandonment range less than 0.6 NM.

それらの結果は Table 1 の如く変緯，東西距は各段階ともほとんど変化なく，距離差が0.19海里から0.12海里に減ずるにすぎないが，標準偏差は±0.37～±0.54海里から±0.09～±0.11海里となりばらつきが小さくなっている．ここで第3段階の棄却の必要性は精度に対する要求度によって考慮すべきものと考えられるが，本システムの精度が高いことから棄却されたデータの出現率が問題になることと，一般に誤差は0.3海里以下とされていることから第3段階までの棄却をして，その精度と棄却データの出現状況の両面から考察することとした．

**結果と考察**

(1)　定点における精度については，測定した1527個のデータより前述の如く 3σ 法により，0.6海里以上のもの84個を除き，1443個について測定時の条件別，すなわち測定時間帯別，高度別および衛星番号別に区分して，それぞれについて測点との差より変緯，東西距および距離の平均値と標準偏差を求めて検討した．

測定時間帯として測定時刻により昼間(D)すなわち日出より日没迄，日出前2時間 (S.R.)，日没後2時間(S.S.) および夜間(N)すなわち日没の2時間後より日出の2時間前まで，と4区分した．本来 S.R., S.S. は夜間としてもよいのであるが，この時間帯では電波の伝搬経路がすべて夜間となっていない場合もあり，衛星の高度とも関連して昼間と夜間との過渡的な状況であるともいえるので別々に区分したものである．これらの結果は Table 2 の通りである．昼間と夜間では平均距離に0.03海里の差があるが，変緯，東西距では0.001～0.002海里と一桁低いオーダーの差にすぎない．S.R., S.S. を夜間の範囲とみなせばその差は更に小さくなる．また標準偏差でも同様な傾向がみられ，昼間と夜間の差が極めて小さいから，ほぼ同精度と考えてよいであろう．また経度方向の誤差とばらつきの方が緯度方向のそれらより大きいとはいえ，ともに0.02～0.03海里程度の差にすぎず，特に言及する必要を認めがたい．

衛星通過時の最大仰角を高度として10°毎に区分し（1は5～9°，8は70～75°の5°間隔），各項目について同様に算出した結果が Table 3 である．低高度と

Table 2. The mean values and standard deviations of difference of latitude, departure and distance in each observed time zone.

| Section | Observed time zone | Number of data | Difference of latitude (NM) | | Departure (NM) | | Difference of distance (NM) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | mean | Standard deviation | mean | Standard deviation | mean | Standard deviation |
| 1 | Day time | 757 | 0.010 | 0.091 | 0.041 | 0.122 | 0.127 | 0.093 |
| 2 | S.R. | 135 | -0.002 | 0.078 | 0.036 | 0.084 | 0.099 | 0.066 |
| 3 | S.S. | 86 | 0.044 | 0.113 | 0.044 | 0.107 | 0.123 | 0.112 |
| 4 | Night time | 465 | 0.011 | 0.080 | 0.036 | 0.079 | 0.099 | 0.064 |
| Total | | 1443 | 0.011 | 0.088 | 0.039 | 0.106 | 0.115 | 0.085 |

S.R. : Two hours before sun rise.
S. S. : Two hours after sun set.

Table 3. The mean values and standard deviations of difference of latitude, departure and distance in each elevation angle.

| Section | Elevation angle (degree) | Number of data | Difference of latitude (NM) | | Departure (NM) | | Difference of distance (NM) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | mean | Standard deviation | mean | Standard deviation | mean | Standard deviation |
| 1 | 5- 9 | 95 | 0.058 | 0.172 | 0.032 | 0.118 | 0.184 | 0.116 |
| 2 | 10-19 | 346 | 0.025 | 0.108 | 0.044 | 0.117 | 0.134 | 0.098 |
| 3 | 20-29 | 302 | 0.015 | 0.067 | 0.034 | 0.097 | 0.100 | 0.072 |
| 4 | 30-39 | 225 | 0.006 | 0.062 | 0.046 | 0.088 | 0.096 | 0.068 |
| 5 | 40-49 | 176 | -0.007 | 0.064 | 0.039 | 0.096 | 0.099 | 0.071 |
| 6 | 50-59 | 138 | -0.008 | 0.062 | 0.049 | 0.088 | 0.101 | 0.060 |
| 7 | 60-69 | 114 | -0.014 | 0.056 | 0.022 | 0.110 | 0.108 | 0.065 |
| 8 | 70-75 | 47 | -0.004 | 0.052 | 0.023 | 0.171 | 0.149 | 0.099 |
| Total | | 1443 | 0.011 | 0.088 | 0.039 | 0.106 | 0.115 | 0.085 |

高高度で距離の平均値がやや大きくなるが，最大の5～9°でも最小値との差は0.1海里に達しない．また5～9°で変緯と距離が最大ではあるがそれぞれ0.06海里，0.18海里にすぎない．最大仰角4°以下と76°以上のデータは計算時にカットされているが，その下限を10°にすれば全体の精度の向上を期待し得るものの，データ数は95個で全体の6.5%であり，この程度の誤差であれば測定回数を減ずることの損失の方が大と言うべきであろう．

衛星の識別番号別に区分して同様に算出した結果がTable 4 である．11番の衛星は測定回数が2回のみであり，これを除外すれば，平均距離はいずれも0.1～0.13海里でほとんど差がないといえる．標準偏差も±0.1海里以下であり，送信周波数の安定度が高く，また軌道要素の精度も充分高いものといえよう．

Table 4. The mean values and standard deviations of difference of latitude, departure and distance in each number of satellite.

| Section | No. of satellite | Number of data | Difference of latitude (NM) | | Departure (NM) | | Difference of distance (NM) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | mean | Standard deviation | mean | Standard deviation | mean | Standard deviation |
| 0 | 11 | 2 | 0.035 | 0.141 | 0.214 | 0.297 | 0.255 | 0.269 |
| 1 | 12 | 298 | 0.016 | 0.076 | 0.036 | 0.095 | 0.103 | 0.075 |
| 2 | 13 | 274 | 0.013 | 0.073 | 0.041 | 0.091 | 0.105 | 0.067 |
| 3 | 14 | 279 | 0.012 | 0.101 | 0.039 | 0.086 | 0.110 | 0.083 |
| 4 | 19 | 276 | 0.008 | 0.095 | 0.047 | 0.106 | 0.124 | 0.084 |
| 5 | 20 | 314 | 0.006 | 0.092 | 0.031 | 0.137 | 0.132 | 0.104 |
| Total | | 1443 | 0.011 | 0.088 | 0.039 | 0.106 | 0.115 | 0.085 |

全体では距離誤差は0.115±0.085海里であり東西距の方が変緯より大きく，平均値が3.5倍とはいえ0.039海里にすぎず，標準偏差も±0.02海里弱の差であり，大小を論ずるに足りない．結局，一般にいわれる0.1～0.3海里の範囲内にあり，高精度の船位が得られることを示している．

いずれの区分でも変緯，東西距とも平均値は0.05海里以下であるのに対して，標準偏差はほぼ±0.1海里前後の値を示しているが，測位結果は緯度，経度とも0.1海里のオーダーで表示されるから，四捨五入による誤差も含まれていることを考慮すれば，実際には一層高精度な情報が送られているものといえよう．

上記各区分における平均位置と測定点との相対的な関係を示すために Table 2, 3, 4 をプロットしたものが Fig. 2 である．ただし，Table 4 の衛星番号11についてはデータ数が少ないので省略した．低高度の5～9°と高高度の60～70° および S.R. の場合やや離れているものの，他は全平均位置（⊕印）から0.03海里以内の距離にある．従って高度について多少の考慮を払う必要はあるが，その他の条件については特に留意したり，これらの条件を組合せた区分をして検討することの必要性も認められない．しかしながら，これまで述べて来たことは3σ法による棄却を行った結果についてであって，実際の場合には今回棄却されたデ

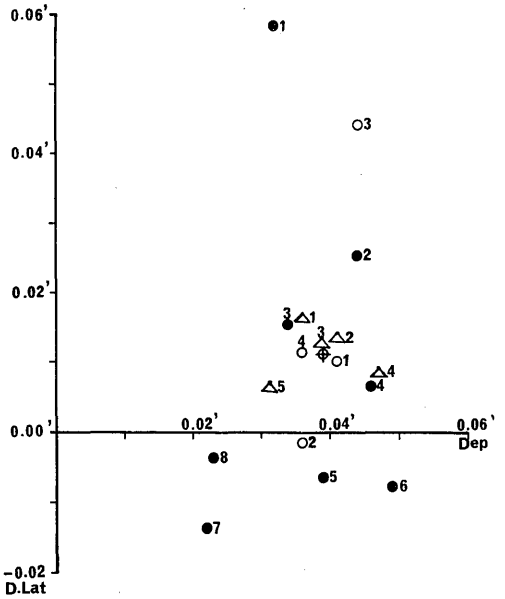


Fig. 2. The fixed station and mean positions by NNSS in each section.
⊕ : The fixed station.
△ : Mean positions by NNSS in each number of satellite.
● : Mean positions by NNSS in each elevation angle.
○ : Mean positions by NNSS in each observed time zone.

ータの出現率や，出現する状況について考慮を払う必要があると考えられる．

(2) 棄却した84個のデータについて，それらの測定条件ごとの出現率を求めた．測定条件の区分方法は前と同様であるが，さらに距離誤差の大きさによって6段階に分類して測定回数との比率を求めて出現率とした．その結果を条件別に Table 5, 6, 7 と Fig. 3, 4, 5に示す．全体の出現率は5.5%で，そのうち2.0海里以下のものが約3%を占め5.0海里以上が1.7%となっている．

Table 5. Number of data in each observed time zone and percentage of unreliable data in each range of distance.

| Observed time zone | Number of data | Percentage of unreliable data | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Difference of distance (NM) | | | | | | Total |
| | | 0.6～1.0 | 1.0～2.0 | 2.0～3.0 | 3.0～4.0 | 4.0～5.0 | 5.0～ | |
| Day time | 812 | 2.0 | 1.6 | 0.3 | 0.4 | 0.3 | 2.2 | 6.7 |
| S.R. | 141 | | 2.1 | | | 0.7 | 1.4 | 4.3 |
| S.S. | 89 | 2.3 | 1.1 | | | | 1.1 | 4.5 |
| Night time | 485 | 1.4 | 0.6 | 0.2 | 0.4 | 0.4 | 1.0 | 4.1 |
| Total | 1527 | 1.6 | 1.3 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 1.7 | 5.5 |

S.R. : Two hours before sun rise.
S. S. : Two hours after sun set.

Table 6. Number of data in each elevation angle and percentage of unreliable data in each range of distance.

| Section | Elevation angle (degree) | Number of data | Percentage of unreliable data | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Difference of distance (NM) | | | | | | Total |
| | | | 0.6～1.0 | 1.0～2.0 | 2.0～3.0 | 3.0～4.0 | 4.0～5.0 | 5.0～ | |
| 1 | 5- 9 | 122 | 7.4 | 5.7 | 0.8 | 2.5 | | 1.6 | 18.0 |
| 2 | 10–19 | 369 | 1.4 | 1.6 | 0.3 | 0.3 | 0.8 | 1.6 | 6.0 |
| 3 | 20–29 | 307 | 0.7 | 0.3 | | | | 2.3 | 3.3 |
| 4 | 30–39 | 229 | | 0.4 | 0.4 | | 0.4 | 0.9 | 2.2 |
| 5 | 40–49 | 186 | 1.1 | 1.6 | | 1.6 | 1.6 | 1.6 | 4.3 |
| 6 | 50–59 | 145 | 1.4 | 0.7 | | | | 2.1 | 4.1 |
| 7 | 60–69 | 119 | 1.7 | 0.8 | | | | 4.2 | 6.7 |
| 8 | 70–75 | 50 | 6.0 | | | | | | 6.0 |
| Total | | 1527 | 1.6 | 1.3 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 1.7 | 5.5 |

時間帯別では昼間が6.65%であるほかは，いずれも4%強でほとんど差はない．2.0海里以下が2～3%を占め，5.0海里以上の大きい誤差は昼間で2%強であるのに対し，他はいずれも1%強にすぎない．昼間での出現率の高いことが棄却数の増加となり，前記のごとく昼間の精度が夜間のそれとほぼ等しくなる結果をもたらしている．

高度別では5～9°で18%に達し，60°以上と10～19°がほぼ同率でこれに次いでいる．そのうち60～69°で5.0海里以上が4.2%の高率を示しているのに，70°以上では1.0海里以下のみであり，合計でも6%以下であるのは，75°以上のものと，誤差が一定値以上のも

Table 7. Number of data in each No. of slatelite and percentage of unreliable data in each range of distance.

| No. of satellite | Number of data | Percentage of unreliable data | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Difference of distance (NM) | | | | | | |
| | | 0.6～1.0 | 1.0～2.0 | 2.0～3.0 | 3.0～4.0 | 4.0～5.0 | 5.0～ | Total |
| 12 | 309 | 0.7 | 1.0 | 0.7 | 0.3 | | 1.0 | 3.6 |
| 13 | 294 | 2.0 | 1.4 | 0.3 | 0.3 | 0.7 | 2.0 | 6.8 |
| 14 | 293 | 0.7 | 1.7 | | 0.3 | 0.3 | 1.7 | 4.8 |
| 19 | 290 | 2.4 | 1.4 | | | | 1.4 | 5.2 |
| 20 | 338 | 2.4 | 1.2 | | 0.6 | 0.6 | 2.4 | 7.1 |
| Total | 1524 | 1.6 | 1.3 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 1.7 | 5.5 |

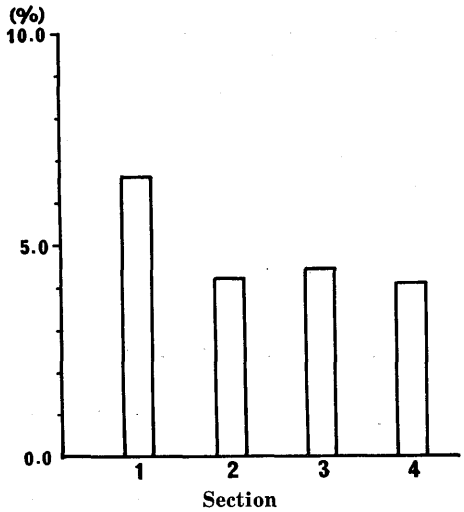


Fig. 3. Percentage of abandoned data in each observed time zone.

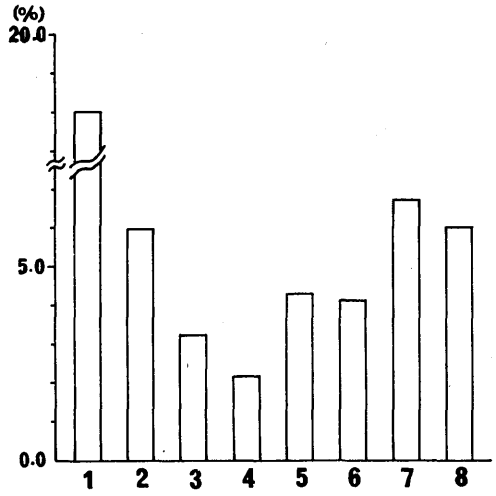


Fig. 4. Percentage of abandoned data in each elevation angle.
No. of section showes the very same range of elevation angle as Table 6.

のは計算段階で結果の判定がなされて，カットされることによるものである．その他の高度では30°台が最も低率で，その前後でも３～４％にすぎず，高度のおよぼす影響が顕著に現われている．前述のごとく低高度の場合にカットする範囲を9°まで拡大することの損失については，５～9°の出現率が特に高いことと利用目的を併せて考慮し決定されるべきであろう．

衛星別の区分では，衛星によって1.0海里以下の出現率に１～２％の差があり，それが合計値を左右し，3.5～7.1％の幅をもっている．従って衛星によって差があるともいえるが，それは単に衛星自体の良否のみが原因とはいえず，他の要素，すなわち観測時刻や高度と相対的に関連するものであるから，単一の条件による分類のみでは断定できない．更に多数のデータにより，また二周波測定の方法も加味して評価すべきであり，今後の研究課題の一つといえよう．

本来，本システムは測定時間間隔が長いことから個々の測定位置の精度が問題となるので，特に棄却したデータについて分類し検討したが，全データの5.5％が0.6海里以上の誤差をもち，そのうち5.0海里以上になるのが２％弱存在する点に留意すべきである．従って本システムを基準として他システムの評価を行う場合には特にこの点に留意し，漂泊中といえども風潮圧流や推測位置と共に前後の測位結果から個々の位置を

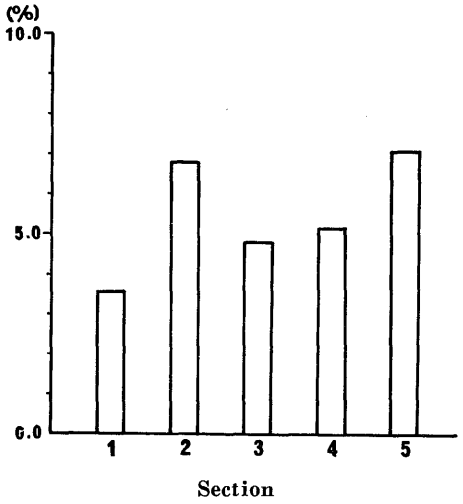


Fig. 5. Percentage of abandoned data in each No. of satellite.
No. of section showes the very same No. of satellite as Table 4. but neglected Section 0 in this Fig. owning to only 2 data.

入念にチェックして行わねばならない．航走中では船速誤差と針路誤差の影響でさらに誤差が増大することも予想され出現率の変化することが考えられるから，今回の結果をそのまま適用することは困難であろう．

## ま と め

長崎港内の定点における距離誤差は，3σ 法による棄却を行えば，一般に云われる0.1～0.3海里の範囲にあり，0.115±0.085海里であった．また変緯と東西距の平均値はいずれも0.01海里のオーダでほとんど差はないといえる．高度別に区分すると低高度と高高度では，わずかながら差がみられるが，他の条件による区分ではほとんど差がなく，これらの条件を組合せて検討することの必要性は認められなかった．

本システムの精度を左右するのは棄却された84個のデータであって，各測定条件別に区分して得られる出現率は，昼間と低高度，高高度でやや大きく，特に高度10°以下では18%に達する．従って測定条件のうち高度については特に留意する必要がある．距離誤差5.0海里以上の出現率は2%弱ではあるが，個個の測位データについて，常にその前後の結果と比較検討して確認することが望ましい．

終りに本研究にあたり測定の便宜を与えていただいた鶴洋丸船長阿部茂夫教授，測定に御協力を賜った乗組員各位，練習生諸君に深甚の謝意を表する．

## 引 用 文 献

(1) 木村小一（1970）．日航海誌，44，81～90．
(2) 木村小一・奈須英臣・庄司和民（1974）．航海，42，67～72．
(3) 樽美幸雄・和気博嗣・上原　雅（1977）．日航海論集，58，41～49．
(4) 木村小一（1977）．衛星航法，海文堂，東京，89～109．
(5) 田中礒一編著・(1978)，電子航海計器の解説，成山堂，東京，357～386．
(6) 光電製作所編・ＮＮＳＳ測位装置取扱説明書
(7) 木村小一・奈須英臣（1973）．日航海論集，49，103～107．
(8) 木村小一（1971）．日航海誌，46，1～8．